

Kardiologie 2025 · 19:128–146  
<https://doi.org/10.1007/s12181-025-00724-0>  
 Angenommen: 9. Januar 2025  
 Online publiziert: 7. März 2025  
 © Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2025



# DGK-Positionspapier zur Schnittbildgebung Teil I: Kardiale Computertomographie zur periprozeduralen Planung und Durchführung von kardialen Interventionen

Aus der Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin

Marco Ochs<sup>1</sup> · Philipp Breitbart<sup>2</sup> · Arian Sultan<sup>3</sup> · Michaela Hell<sup>4</sup> · Jeanette Schulz-Menger<sup>5</sup> · Philipp Lurz<sup>3</sup> · Christoph Tillmanns<sup>6</sup> · Christian Tesche<sup>7</sup> · Axel Linke<sup>8,15</sup> · Stephan Achenbach<sup>9</sup> · Holger Thiele<sup>10</sup> · Tanja K. Rudolph<sup>11</sup> · Alexander Ghanem<sup>12</sup> · Grigorios Korosoglou<sup>13,14</sup>



Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autorinnen und Autoren gewählten Genderform. Bei der Verwendung des generischen Maskulinums als geschlechtsneutrale Form sind alle Geschlechter impliziert.

Die Autoren A. Ghanem und G. Korosoglou haben zu gleichen Teilen zum Manuskript beigetragen.

Weitere Informationen zu den Affiliations der Autoren befinden sich auf der letzten Artikelseite.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

## Einleitung

Der diagnostische Stellenwert der kardialen Computertomographie (CT) zum Ausschluss oder zum Nachweis einer koronaren Herzerkrankung (KHK) ist in Leitlinien fest verankert [1, 2]. Die Empfehlungen gründen auf der breiten Evidenz zum hohen negativen prädiktiven Wert sowie auf der Bedeutung des Verfahrens zur Risikostratifikation und Therapiesteuerung von Patienten mit KHK [3, 4]. Neben der Expertise in Bezug auf die Interpretation der mittels kardialer CT generierten Bilddaten bedarf es hinsichtlich der daraus resultierenden teilweise weitreichenden Entscheidungen ebenfalls fachkardiologischer Erfahrung. Die technischen Weiterentwicklungen der CT, ausgerichtet auf die spezifischen Herausforderungen der kardialen Bildgebung, ebneten jedoch erst in den vergangenen Jahren den Weg für neue Anwendungsfelder zur periprozeduralen Planung und Steuerung kardialer Interventionen. Die kardiale CT ermöglicht mit den Vorteilen eines nichtinvasiven Verfahrens, insbesondere ihrer hohen und isotropen räumlichen Auflösung, die exakte dreidimensionale Analyse von Dimensionen und Lagebeziehungen und somit

die patientenspezifische Anpassung der strategischen Vorgehensweise. Während die kardiale CT zur präprozeduralen Planung bei der Implantation von Transkatheteraortenklappenprothesen bereits unverzichtbar ist, hält das Verfahren nun breiten Einzug in die invasive Kardiologie zur Planung auch anderer struktureller Eingriffe (Vorhofohrverschluss, Transkathetermitral- und trikuspidalklappenimplantationen), bei Ablationen oder Koronarinterventionen.

Das nachfolgende Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) ist in Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen für interventionelle Kardiologie (AGIK) und kardiale CT (AG 24) entstanden und setzt sich zum Ziel, die Anwendungsgebiete der kardialen CT und deren Stellenwert bei der periprozeduralen Planung und Durchführung von kardialen Interventionen einzuordnen. Es sollen Standards für die Anwendung und Befundung der kardialen CT definiert, Evidenzlücken aufgezeigt und es soll zur wissenschaftlichen Aufarbeitung der Thematik angeregt werden.

## Infobox 1

- Für die Zeit der Bildakquisition muss ein Atemkommando befolgt werden. Dies sollte vor Beginn der Akquisition mit dem Patienten geübt werden, da eine Nichtbefolgung der Atemkommandos Bewegungsartefakte und im schlimmsten Fall eine Untersuchung ohne diagnostische Aussagekraft zur Folge haben kann.
- Es sollte ein großlumiger intravenöser Zugang (18 Gauge), vorzugsweise im antekubitalen Bereich gelegt und vor der Untersuchung getestet werden. Dies ist für die hohe Kontrastmittelflussrate erforderlich.
- Patienten ohne eine Kontraindikation für die Gabe von Nitraten (beispielsweise hochgradige Aortenklappenstenose, ausgeprägte Hypotonie [RR < 100 mmHg systolisch] oder hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie) sollten 2–3 min vor der Untersuchung diese als sublinguales Spray erhalten. Die Applikation führt zu einer Koronardilatation und damit Optimierung der Bildqualität. Weiterhin erfolgt eine Nachbeobachtung zur Erkennung möglicher Komplikationen, z. B. allergischer Reaktion bzw. von Herzrhythmus- bzw. Kreislaufstörungen.
- Eine kardiale CT muss stets EKG-getriggert durchgeführt werden. Die Ableitung eines EKG-Signals während der Untersuchung ist zwingend erforderlich, um eine prospektive Triggerung oder ein retrospektives Gating zu ermöglichen.

### Patientenvorbereitung, technische Durchführung, Rekonstruktion der Datensätze und Befundinterpretation

#### Patientenvorbereitung (Herzfrequenz, intravenöser Zugang und EKG-Signal)

Untersuchungsprotokolle und Rekonstruktionsverfahren müssen bei der kardialen CT individuell an die Gegebenheiten der Patienten und an die Fragestellung angepasst werden. Trotz der hohen Zeitauflösung moderner CT-Scanner ist eine Senkung der Herzfrequenz auf < 65 Schläge pro Minute für die Koronardarstellung entscheidend, um artefaktfreie Bilder in hoher Qualität bei gleichzeitig sehr niedriger Strahlenexposition für den Patienten (prospektive EKG-Triggerung oder FLASH-Modus) akquirieren zu können. Dies kann durch herzfrequenzsenkende Medikamenten – in erster Linie intravenös applizier-

Die kardiale Computertomographie (CT) soll gemäß den Empfehlungen der Leitlinien zum Ausschluss oder Nachweis einer koronaren Herzerkrankung (KHK) im Sinne einer erweiterten Risikostratifikation eingesetzt werden. Technische Weiterentwicklungen ebnet nun den Weg der koronaren CT-Angiographie (CTA) über die Diagnostik hinaus auch zur periprozeduralen Planung und Steuerung kardialer Interventionen. Dank hoher und isotroper räumlicher Auflösung erlaubt die kardiale CT bei koronaren Interventionen die patientenindividuelle Entscheidung unter anderem der strategischen Vorgehensweise inklusive der Läsionspräparation. Bei strukturellen Interventionen werden die exakte dreidimensionale Analyse von Dimensionen und Lagebeziehungen sowie die passende Auswahl von Implantaten ermöglicht. Während die kardiale CT zur präprozeduralen Planung bei der Implantation von Transkatheteraortenklappenprothesen bereits unverzichtbar ist, hält das Verfahren nun Einzug in die invasive Kardiologie auch zur Planung weiterer struktureller Eingriffe, koronarer Interventionen und elektrophysiologischer Prozeduren. Durch dieses Positionspapier werden die Anwendungsgebiete der kardialen CT als Unterstützungsmethode kardialer Interventionen eingeordnet und Standards für die Anwendung und Befundung definiert.

#### Schlüsselwörter

Chronisches Koronarsyndrom · Kardiale Computertomographie · KHK · Herzklappenerkrankungen · Strukturelle Herzkrankheit

te Betablocker vor der Untersuchung – erreicht werden (mit Notwendigkeit einer Überwachung durch qualifizierte Ärzte während und nach der kardialen CT). Die Parameter, auf die während der Patientenvorbereitung geachtet werden sollte, werden in der **Infobox 1** zusammengefasst.

#### Kardiale CT – Durchführung (Kalzium-Scoring, technische Anforderungen des CT-Scanners und Rekonstruktion der Datensätze)

Der Beginn einer kardialen CT erfolgt mit einer Übersichtsaufnahme (Topogramm). Dies erlaubt die Erkennung der kranio-kaudalen Ausdehnung des Herzens und eine Anpassung der Strahlenexposition anhand des Ausmaßes der Koronarkalzifikation (z. B. bei wenig Kalkbesatz kann die Röhrenspannung bzw. der Röhrenstrom reduziert werden, woraus eine deutliche Reduktion der Strahlenexposition resultiert). Bei Patienten mit ausgeprägter koronarer Kalzifikation ist je nach apparativer Ausstattung und örtlich vorhandener Expertise im Sinne einer Level-2- oder -3-Zusatzqualifikation der Verzicht auf eine nachfolgende Kontrastmittelgabe kritisch zu diskutieren, da eine ausreichende Beurteilung der Koronararterien in dieser Konstellation häufig erschwert sein kann. In diesem Fall sollte eine nichtinvasive Ischämietestung als

alternative Diagnostik durchgeführt werden. Im Falle der Planung einer strukturellen Intervention am Herzen wie eine TAVI-Prozedur hat allerdings die schwere der Koronarkalzifikation keinen Einfluss auf die Durchführung der Kontrastmittelgestützten kardialen CT, da hier die Darstellung der Aortenanusulanatomie im Vordergrund steht. Die Wahl des Akquisitionsprotokolls richtet sich nach der klinischen Fragestellung, dem Herzrhythmus und der -frequenz des Patienten sowie der verfügbaren Technologie. Für eine hochmoderne kardiale CT mit geringer Strahlenexposition werden im Allgemeinen prospektiv EKG-getriggerte Algorithmen sowie für eine ausreichende Kontrastierung der Koronararterien eine Mindestflussrate des Kontrastmittels von 5 ml/s empfohlen.

#### Technische Anforderungen des CT-Scanners

Für die kardiale CT sollten nur Scanner mit sowohl Möglichkeit zur Spiral/Helikale-Akquisition mit retrospektiv EKG-synchronisierter Bildrekonstruktion als auch zur axialen Akquisition mit prospektiver EKG-Triggerung zum Einsatz kommen [5, 6]. Speziell für die periprozedurale Planung in der Koronarintervention sollten in Anlehnung an das Positionspapier der DGK [7] die Anforderungen der apparativen Ausstattung sogar höher sein (s. **Infobox 2**) als für die

Interventionelles Zielgefäß	_____
CT-SYNTAX-II-Score	_____ Punkte
Hochrisikoplaquecharakteristika	_____
Orthogonale Projektion	____° LAO/RAO    ____° CAU/CRAN
Medina-Klassifikation	___ (prox MV), ___ (dist MV), ___ (SB)
Referenzdiameter (mm)	___ (prox MV), ___ (dist MV), ___ (SB)
Läsionslänge (mm)	___ (MV), ___ (SB)
Minimal luminal area (mm <sup>2</sup> )	_____
Plaquetfläche (%)	___ (prox MV), ___ (dist MV), ___ (SB)
Seitastrelevanz (Länge ≥73 mm)	<input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
Seitastkomplexität (Läsionslänge ≥10 mm)	<input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
Schwere Kalzifikation (Densität ≥635 HU)	<input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
Stentstrategie	<input type="radio"/> provisional <input type="radio"/> DK-Crush <input type="radio"/> Culotte <input type="radio"/> T-Stenting <input type="radio"/> TAP
Kalziummodifikation	<input type="radio"/> RA/OA <input type="radio"/> IVL <input type="radio"/> UHP
Stentgröße	___x___ (MV), ___x___ (SB)

**Abb. 1** ◀ Beispielhafte Befundvorlage von gesteuerten Koronarinterventionen

rein diagnostische koronare CTA, die lediglich zum Ausschluss oder zum Nachweis einer obstruktiven koronaren Herzkrankheit (KHK) dient.

### Bildrekonstruktion und Auswertung

Bei Patienten mit häufigen Extrasystolen oder Vorhofflimmern muss zudem die Möglichkeit gegeben sein, artefaktfreie Bilder durch EKG-Bearbeitung zu erhalten. Für die Rekonstruktion der Datensätze sollte die Möglichkeit einer iterativen Rekonstruktion vorhanden sein, die einer Optimierung der Bildqualität bei gleichzeitig möglichst geringer Strahlenexposition dient [8]. Für die Auswertung und Befundung der CT-Bilder sollte eine Nachbearbeitungssoftware mit der Möglichkeit zur multiplanaren Rekonstruktion (MPR) in Echtzeit vorhanden sein.

### CT-geführte Koronarinterventionen

#### Rationale zur Anwendung der koronaren CTA bei Planung und Durchführung von Koronarinterventionen

Die Rationale zur Anwendung der koronaren CTA als nichtinvasives Verfahren

zur Planung von Koronarinterventionen ergibt sich daraus, dass die Untersuchung als Eingangsdiagnostik heute bereits in vielen Fällen der invasiven Koronarangiographie vorausgeht und die nichtinvasive Bildgebung hier nutzbar gemacht werden kann. Nach dem Beschluss des gemeinsamen Bundesausschusses (G-BA) mit Kostenübernahme der koronaren CTA durch die gesetzlichen Krankenkassen im Deutschen Gesundheitssystem kann von einem breiteren Einsatz in Zukunft ausgegangen werden. Die koronare CTA könnte unter diesen Rahmenbedingungen die Aufgabe nicht nur der primären Koronardiagnostik, sondern auch der Interventionsplanung übernehmen. Daraus ergibt sich die inhaltliche Notwendigkeit, die Fachdisziplin Kardiologie im gesamten Prozess von der Indikationsstellung zur koronaren CTA über die Befundung und Befundinterpretation bis zur Umsetzung in der klinischen Konsequenz federführend zu beteiligen.

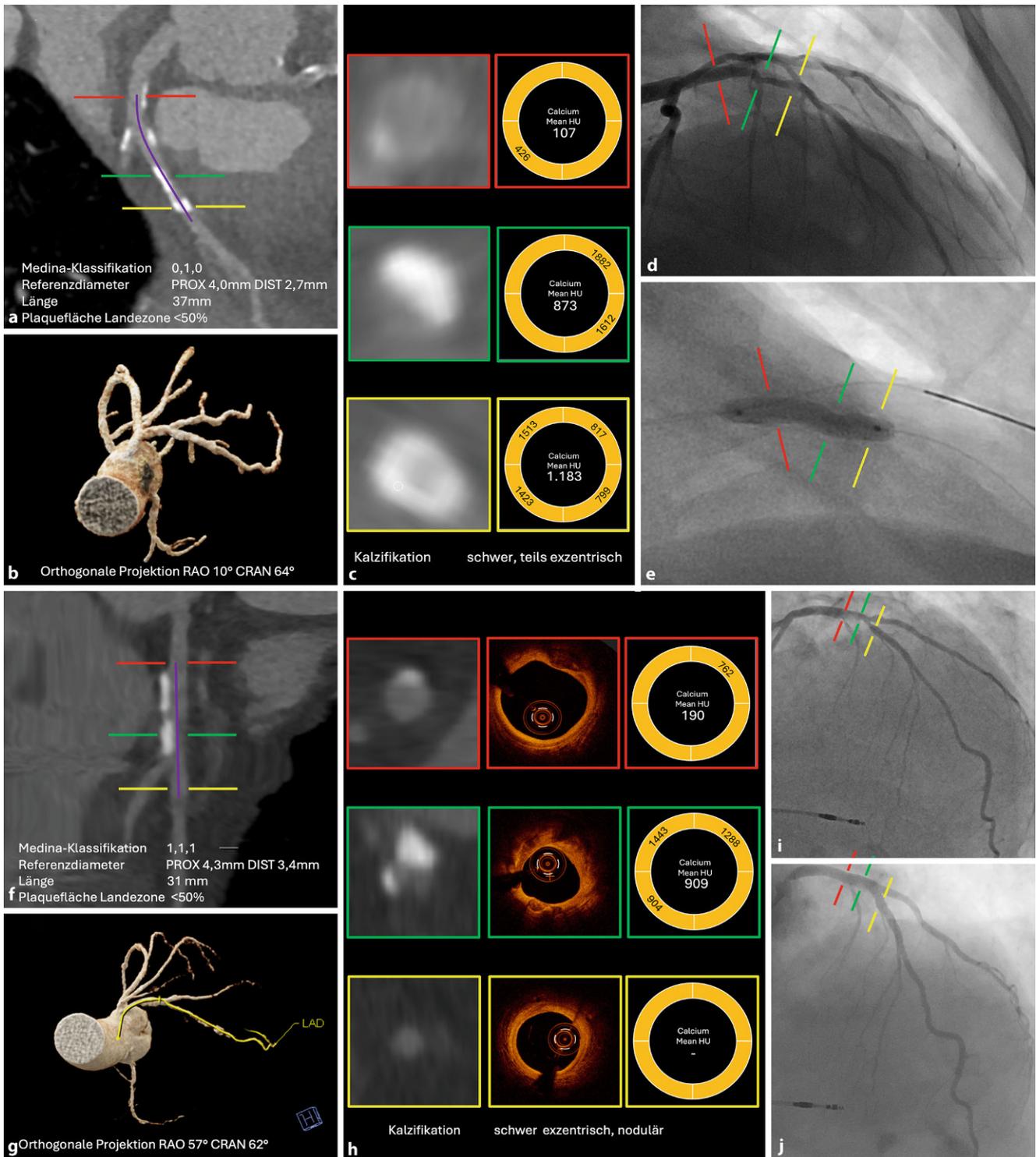
Möglichkeiten und Limitationen einer CT-gesteuerten Koronarintervention werden im nachfolgenden Abschnitt von der Wahl des Zugangsweges bis zur interventionellen Strategieplanung dargestellt.

- a. Evaluation der Zugangswege und Auswahl der Führungskatheter mittels CTA

Der bevorzugte Zugangsweg bei der Koronarintervention erfolgt über die Radialarterie. Falls ein radialer Zugangsweg nicht infrage kommt, erscheint in ausgewählten Fällen unter anderem bei Prozeduren, die großlumige Schleusen erfordern (Rotablationsprozeduren mit größeren ≥ 1,75 mm Bohrköpfen, Risikointerventionen unter Verwendung eines Impella-CP-Systems (Firma Abiomed, Danvers, Massachusetts, USA)), zusätzlich zu einer Duplexuntersuchung eine CTA als hilfreich zur Evaluation transfemoraler Zugangswege, dies insbesondere bei bekannter Verschlusskrankheit der Beckenarterien oder nach komplexen gefäßchirurgischen Eingriffen. Die CTA erlaubt eine dreidimensionale Rekonstruktion des Gefäßverlaufes mit Bestimmung der Diameter und Beurteilung der Zugänglichkeit für Schleusen als auch Katheter (Stenosen, Kinking) sowie Abschätzung des vaskulären Komplikationsrisikos. Obwohl eine CTA keine Voraussetzung für die Planung der Zugangswege darstellt, sollte im Falle des Vorliegens von CT-Bildern, die entsprechende Information sinnvoll genutzt werden. Somit könnte die Auswahl einer optimalen Punktionsstelle durch die Vermeidung der Punktion von Kalzifikationen, Bifurkationen oder Stents erfolgen. Ebenso ergibt sich dadurch die Möglichkeit, Führungskatheter basierend auf den Dimensionen der peripheren Gefäße, des Aortensinus, der Lokalisation der Koronarabgänge und des erforderlichen Backups im Vorfeld auszuwählen [9].

- b. Die Rolle der CT-basierten Simulation der fraktionellen Flussreserve (FFR)

Ein klinisch weitläufig etabliertes Verfahren zur funktionellen Charakterisierung von Koronarstenosen mittels CT gemäß den Leitlinienempfehlungen zur Steuerung der Revaskularisation existiert bisher nicht. Die CT-basierte FFR simuliert die Koronarphysiologie auf Grundlage von dreidimensionalen Flusssimulationen in den Koronararterien [10]. Die diagnostische Genauigkeit der FFR<sub>CT</sub> erscheint allerdings mit < 82% im Entscheidungsbereich zwischen 0,6 und 0,8 mit aktuellen Algorithmen gegenüber dem invasiven Goldstandard für einen klinischen Einsatz zu niedrig. Zudem erfolgt die Analyse der einzig kommerziell erhältlichen und klinisch zugelassenen Softwarelösung



zentral in einem CoreLab, sodass hierfür nicht nur ein Bilddatentransfer nach extern, sondern auch ein Entgelt notwendig ist, was nicht als reguläre Kassenleistung rückerstattet werden kann [11]. KI-basierte Modelle stellen allerdings einen möglicherweise vielversprechenden Ansatz zur

Erfassung der CT-FFR dar, was derzeit im Rahmen von klinischen Studien evaluiert wird. Auch die Myokardperfusion als physiologisches Verfahren zum Ischämienachweis in der Computertomographie findet aufgrund des zeitlich erheblichen Mehraufwands und der deutlich erhöhten

Strahlenexposition und bisher geringer klinischer Evidenz kaum Anwendung. Die Durchführung der CT-simulierten FFR sowie der CT-Myokardperfusion kann daher als klinischer Standard noch nicht empfohlen werden.

**Abb. 2** ◀ zeigt im k-CT (a) eine 75- bis 90%ige Stenose der medialen LAD mit Beteiligung des Ramus diagonalis I (RD1). Die luminalen Referenzdiameter betragen distal 2,7 mm und proximal 4,0 mm. Die Läsionslänge beträgt 37 mm bei einer Plaquelast < 50% an den Landezonen. Der RD1 zeigt keine Stenosen > 50% und wird bei einer Länge  $\geq 73$  mm als funktionell relevant eingeschätzt (Medina-Klassifikation 0,1,0). Die orthogonale Projektion (b) der Bifurkation in der Durchleuchtung findet sich bei RAO 10°/CRAN 64°. Die mediale LAD zeigt sich zirkulär, teils schwer zirkumferenziell kalzifiziert (c). Die k-CT gibt die Empfehlung zum Provisional-Stenting nach Rotablation (Stent LAD: 3,0  $\times$  38 mm; POT 4,0 mm). Die Koronarangiographie wird in d angezeigt. Die Ballonunterexpansion bestärkt die k-CT basierte Empfehlung zur Rotablation (e), f zeigt eine 90%ige Stenose der medialen LAD mit Beteiligung des RD2. Am Abgang des RD2 ergibt sich eine 50- bis 75%ige Stenose (Medina-Klassifikation 1,1,1). Der RD2 wird bei einer Länge  $\geq 73$  mm als funktionell relevant eingeschätzt. Die luminalen Referenzdiameter betragen distal 3,4 mm und proximal 4,3 mm. Der distale lumenale Referenzdiameter des RD1 ergab 2,5 mm bei einer Plaquelänge von 12 mm. Die Läsionslänge der LAD beträgt 31 mm bei einer Plaquelast < 50% an den jeweiligen Landezonen. Die orthogonale Projektion (g) der Bifurkation in der Durchleuchtung findet sich bei RAO 57/CRAN 62°. Die Läsion ist schwer exzentrisch, zum Teil nodulär kalzifiziert. Es ergibt sich eine enge Korrelation des k-CT zur optischen Kohärenztomographie (Kalziumdicke > 0,5 mm, Kalziumwinkel > 180° und Kalziumlänge > 5 mm in h). Aufgrund der erhobenen k-CT-Parameter wurde eine 2fach-Stentstrategie als DK-Crush mit orbitaler Atherektomie durchgeführt. i, j zeigen die invasive Koronarangiographie und das postinterventionelle Ergebnis

### c. Der k-CT-Syntax-Score bei Mehrgefäß-KHK

Es zeigt sich sowohl für den funktionellen als auch den anatomischen SYNTAX-II-Score eine hohe Übereinstimmung zwischen koronarer CTA und der invasiven Koronarangiographie, auch wenn die koronare CTA insbesondere bei stärkerer Verkalkung Stenosen eher überschätzt [12]. In der Regel wird bei koronaren CTA-Befunden in der klinischen Routine der SYNTAX-Score bislang nicht angegeben, ist aber aus kardiologischer Sicht zu fordern. Bei jedem koronaren CTA-Befund sind eine semiquantitative Bestimmung des Stenosegrades sowie Informationen zur Beschaffenheit der Plaque in kalzifizierten, nicht kalzifizierten oder gemischten Läsionen erforderlich. Zudem müssen morphologische Kriterien der Plaquevulnerabilität wie lipidreiche (hypoattenuierte) Anteile, positives Remodeling, Spotty-Kalzifikation und das Napkin-ring-Zeichen dokumentiert werden. Plaques, die einzelne oder mehrere dieser Kriterien erfüllen, sind als vulnerabel mit erhöhten Ereignisraten (MACCE) einzustufen [13, 14].

### d. Behandlungsstrategie bei Bifurkationsstenosen

Auf Grundlage der koronaren CTA kann eine algorithmische Strategieplanung ergänzend zur intrakoronaren Bildgebung nach den Empfehlungen des European Bifurcation Club erfolgen. Basierend auf den koronaren CTA-Daten, sollte eine präinterventionelle Evaluation der Läsionspräparation und der Stentimplantationsstrategie erfolgen. Es sollten zur Entscheidungs-

findung die Plaquecharakteristika und -ausdehnung über die Stenose hinaus evaluiert werden. Die proximale und distale Stentkante sollte nach Möglichkeit in einem Areal mit einer Plaquequerschnittsfläche („plaque burden“)  $\leq 50\%$  enden. Die koronare CTA sollte bei Bifurkationsstenosen insbesondere auch zur Beurteilung der Plaqueausdehnung (Klassifikation nach Medina) und zur hämodynamischen Relevanz des Seitenastes herangezogen werden [15]. Zudem sollte die Angulation des C-Bogens an den CT-angiographisch definierten Gefäßachsen ausgerichtet werden. Randomisierte Studien, die einen Vorteil einer koronaren CT-Planung auf das Behandlungsergebnis bei Bifurkationsstenosen zeigen, gibt es allerdings bisher nicht.

### e. Anwendung von Debulking-Verfahren bei kalzifizierten Läsionen

In einer retrospektiven Analyse zeigte sich eine enge Assoziation zwischen einer mittleren Dichte des Kalkplaques  $\geq 635$  Hounsfield-Einheiten mittels k-CT und der Notwendigkeit einer Rotablation [16]. Die Angabe der Kalziumdichte wird fakultativ empfohlen und ist noch kein klinischer Standard. Aus der intrakoronaren Bildgebung sind Prädiktoren bekannt, die eine Stentunterexpansion (Kalziumwinkel über 180°, eine Kalziumlänge von  $\geq 5$  mm und eine maximale Kalziumdicke  $\geq 0,5$  mm) vorhersagen und deswegen zur Anwendung eines Debulkingverfahrens möglicherweise herangezogen werden [17]. Diese Kriterien sind für die Anwendung in der koronaren CTA nicht evaluiert

und sollten daher nicht übernommen werden. Die **Abb. 1** zeigt eine beispielhafte Befundvorlage der entscheidungsrelevanten koronaren CTA-Parameter und die daraus abzuleitende interventionelle Strategie. In **Abb. 2** veranschaulichen 2 exemplarische Fälle die algorithmische Auswertung und Strategieplanung.

### f. Revaskularisation von chronischen Koronarverschlüssen (CTO)

Die Anwendung der k-CT erhöht bei CTOs gemäß einzelnen Studien die Patientensicherheit sowie den Interventionserfolg [18]. Die k-CT erlaubt im Gegensatz zur Angiographie eine differenzierte Charakterisierung des Verschlusses hinsichtlich proximaler und distaler Verschlusskappe, des Verschlusskörpers und des Gefäßverlaufes. Die koronare CTA kann dazu beitragen, unter besonderer Beachtung von schweren Kalzifikationen, torquierten Gefäßverläufen oder unklar lokalisierten Verschlusskappen Rückschlüsse auf Materialauswahl und strategisches Vorgehen zu treffen. Einzelne Studien zeigten in diesem Kontext gegenüber den angiographischen Scores eine signifikante Überlegenheit der koronaren CTA zur Vorhersage einer erfolgreichen Drahtpassage durch das Verschlusssegment [18]; **Abb. 3** zeigt beispielhaft einen schwer kalzifizierten chronischen Verschluss des distalen Hauptstamms, bei dem das k-CT maßgeblich zur Strategiefindung beitragen konnte.

## Rolle der kardialen CT in der periprozeduralen Planung bei strukturellen Interventionen

### Die Präsentation im Herz-Team

Die Präsentation der Befunde der CT-Planung vor strukturellen Klappeninterventionen erfolgt im interdisziplinären Herz-Team idealerweise mit der zuvor auch für die Auswertung genutzten Software. Neben den vollständigen prozedurspezifischen Messwerten, die im Herz-Team für eine erste gemeinsame Entscheidung hinsichtlich Prothesentyp und -größe genutzt werden sollten, erfolgt eine Darstellung inklusive Empfehlung der möglichen Zugangswege. Ein besonderer Fokus liegt auf Aspekten, die

## Infobox 2

### Technische Anforderungen an CT-Scanner für die periprozedurale Planung in der Koronar- und Herzklappenintervention

- Adäquate Prämedikation (Nitroglycerin, Betablocker, ggf. Anxiolytikum)
- Hausinterne gerätespezifische Standardanweisungen zur Protokollauswahl und zur Vorbereitung der Patienten (insbesondere Prämedikation), EKG-abhängige Modulation des Röhrenstromes
- Dual-Source-Systeme und/oder hohe Zeilenanzahl (mindestens 128 Zeilen bzw. 64 Zeilen bei Dual-Source-CT-Scannern)
- Modifizierbarkeit der Röhrenspannung zwischen 80 und 120 kV
- Favorisierung prospektiv getriggelter dosisparender Protokolle unter geeigneten Bedingungen
- Räumliche Auflösung  $\leq 0,4$  mm; kleinste Schichtdicke  $\leq 0,6$  mm
- Hochauflösende ( $\leq 0,3$  mm Schichtdicke) und artefaktfreie Rekonstruktionen des zu behandelnden Segmentes zur präzisen Vermessung und Plauecharakterisierung
- Zeitliche Auflösung  $< 100$  ms (geräteseitig) zur Gewährleistung einer bewegungsfreien Bildgebung auch bei erhöhter Herzfrequenz (HR  $\geq 80$ /min) und/oder -variabilität (HRV  $\geq 20$  %)
- Zusätzliche simultane Erhebung von Spektraldaten bei schwerer Koronarkalkifikation durch Kalziumsubtraktionsdarstellung zur Bestimmung der minimalen Lumenfläche ohne Blooming-Artefakte
- Programmierbarer Doppelkolbeninjektor mit einer einstellbaren Flussrate bis 7 ml/s

eine Intervention erschweren oder gar kontraindizieren könnten.

### CT-basierte Planung einer kathetergestützten Aortenklappenimplantation (TAVI)

#### a. Grundlagen der CT-Akquisition

Die dynamischen Dimensionen des Aortenklappenannulus erfordern gemäß den aktuellen Konsensusempfehlungen eine CT-Akquisition über den gesamten Herzzyklus [19]. Eine native kardiale CT kann der Kontrastmittelgabe zum Kalzium-Scoring nach Agatston vorausgehen. Anschließend erfolgt eine Angiographie der gesamten Aorta und der Zugangswege in kraniokaudaler Akquisitionsrichtung. Die Besonderheiten des CT-Protokolls sind in **Infobox 3** zusammengefasst.

## Infobox 3

### CT-Akquisition zur Planung einer kathetergestützten Aortenklappenimplantation (TAVI)

- Natives CT vor Kontrastmittelapplikation zum Kalzium-Scoring der Aortenklappe nach Agatston.
- Kardiale CT als EKG-getriggerte Spiralkquisition mit Dosismodulation („full cycle“) und retrospektivem Gating. Ggf. dosisparende Protokolle mit prospektiver Triggerung (sequenziell oder „high pitch“) mit systolischer Abdeckung (RR 20–40 %) zwecks Reduktion der resultierenden Strahlenexposition.
- CT-Angiographie (Scanfenster im Topogramm oberhalb des Schlüsselbeins bis unterhalb des Hüftkopfes) mit Bolus-Tracking in der Aorta descendens (HU  $> 100$ ).

#### b. Morphologische Charakterisierung der Aortenklappe

Die Konfiguration Aortenklappe (bikuspid/trikuspid) und Besonderheiten der Morphologie (ggf. vorhandene Raphen und deren Verkalkung, mobile Taschenanteile usw.) werden analysiert. Eine visuelle Beurteilung des Kalkgehaltes anulär, aber auch supraanulär im Bereich der Taschen und im linksventrikulären Ausflustrakt (LVOT) ist unerlässlich, da anuläre Kalksporne mit Ausdehnung in den LVOT die Gefahr einer (gedeckten) Anulusruptur erhöhen ([20]; **Abb. 4**). Die Quantifizierung des Kalkscores (Agatston-Score) nimmt zudem eine Bedeutung in der Diagnostik von schweren Aortenklappenstenosen mit niedriger Flussgeschwindigkeit und niedrigem Druckgradienten ein (sog. „Low-flow, low-gradient“-Stenosen), deren Quantifizierung echokardiographisch eine große Herausforderung darstellt. Ein Kalkscore  $> 3000$  (Männer) bzw.  $> 2000$  (Frauen) macht eine hochgradige Stenose insbesondere bei der paradoxen „Low-flow/low-gradient“-Aortenklappenstenose sehr wahrscheinlich [21].

#### c. Vermessung der Anulusebene als Prothesenlandezone

Die Grundlage aller nachfolgenden Messungen ist die korrekte Identifikation der Anulusebene. Sie ist definiert als die basale Anheftungsstelle der einzelnen Taschen (sog. basale „hinge points“) und die anschließende Verbindung dieser Punkte in

einer Ebene (**Abb. 5**). Obligatorisch sind der Perimeter, der minimale und maximale Diameter sowie die Fläche anzugeben. d. Risikoevaluation für eine Koronarobstruktion

Der Abstand der Koronarostien orthogonal zur Anulusebene korreliert mit dem Risiko einer Koronarobstruktion nach TAVI und wird bei einem Abstand  $\leq 10$  mm als deutlich erhöht angesehen (**Abb. 6**). Zusätzlich sollten größere Kalkformationen am Schließungsrand der Taschen, die Taschenlänge sowie die Sinusweite zur Risikoeinschätzung einbezogen werden [19]. e. Identifikation der orthogonalen Anulusprojektionsebene

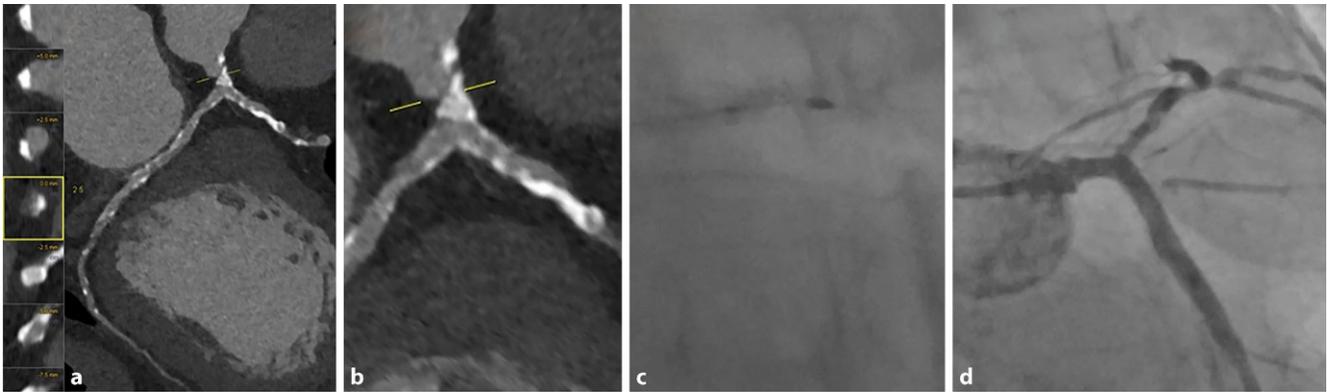
Die Implantation der Aortenklappenprothese erfordert zur Sicherstellung des kommissuralen Alignments eine orthogonale Projektion der Durchleuchtung im C-Bogen auf die Anulusebene mit symmetrischer Ausrichtung der Kommissuren. Diese Angulation ist bei der Befundung anzugeben.

#### f. Evaluation der Zugangswege

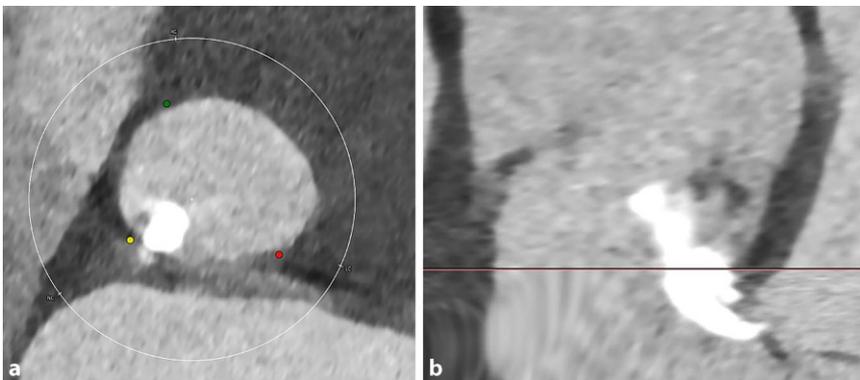
Mittels „Volume-Rendering-Technik“ (VRT) lassen sich die Zugangswege dreidimensional visualisieren. Diese Darstellung erlaubt eine erste Einschätzung, ob im Gefäßverlauf Stenosen oder Ektasien/Aneurysmata vorliegen sowie eine visuelle Quantifizierung der Knickbildung der Gefäße (= Kinking) und der Torquierung. Zudem erfolgt für alle Abschnitte der Zugangswege eine Beurteilung der Kalzifizierung (**Abb. 7**).

Im Bereich der Aorta liegt ein besonderer Fokus auf intraluminalen Plaueanteilen (kalzifiziert oder nicht kalzifiziert, ggf. mit ulzerierenden Anteilen), die den Zugang erschweren können und vor allem im Falle nicht kalzifizierender intraluminaler Plaues das Risiko einer Embolie oder eines Schlaganfalls erhöhen.

Für die Beckenzugangswege ermöglichen kommerziell erhältliche Softwareapplikationen häufig eine lineare und gekrümmte planare Rekonstruktion orientierend an der Gefäßachse. Beidseits sind die minimalen Diameter und Kalzifizierungsmuster anzugeben. Je nach Prothesen- und Schleusenmodell ist der minimal benötigte Diameter zu beachten.



**Abb. 3 ▲** Nachweis eines stark verkalkten Verschlusses des Hauptstammes (a, b) nach Bypassoperation in einem Patienten mit deutlichen Angina-pectoris-Beschwerden unter Belastung. Die Cardio-CT weist auf die Notwendigkeit einer Rotationsatherektomie zur Läsionspräparation hin (c), was anschließend im Herzkatheterlabor durchgeführt wird. Nach der Rotationsatherektomie erfolgen eine Ballondilatation sowie die Implantation von einem Stent mit gutem Abschlussergebnis (d)



**Abb. 4 ▲** Kalksporn im Bereich der Prothesenlandungszone. Großer, in den LVOT hineinragender Kalksporn im Bereich der akoronaren Tasche in axialer a und sagittal-obliquier b Rekonstruktion mit erhöhter Gefahr einer periinterventionellen Anulusruptur oder dem Neuauftreten von Leitungsblockaden

Bei Stenosen sollten das Maß und die Ausprägung der Kalzifizierung (zirkulär vs. exzentrisch) angegeben werden, um Calcium-modulierende Therapien (perkutane transluminale Angioplastie mit Stentimplantation oder Lithotripsie) zur Präparation des transfemorale Zugangsweges zu planen.

Sollten sich in der CT Kontraindikationen oder zumindest besondere Herausforderungen für einen transfemorale Zugang ergeben, empfiehlt sich die Analyse alternativer Zugangswege (Aa. subclaviae beidseits, transaortal, transapikal oder transcaval) (■ Abb. 8).

### Spezifische CT-Auswertungen vor Valve-in-Valve-TAVI

Eine besondere Herausforderung besteht in der CT-Planung von Valve-in-Valve (ViV) oder TAVI-in-TAVI-Prozeduren (Re-

do-TAVI). Bei beiden Prozeduren besteht ein erhöhtes Risiko für eine Koronarobstruktion durch eine Sequestration des Sinus Valsalva – insbesondere, wenn die Stentframes der ersten Prothese bis zum sinotubulären Übergang reichen. Neben den standardmäßigen Messungen sollte deswegen das initiale prä-TAVI-CT vor der ersten Prozedur mit herangezogen werden, um dort die Anulusfläche und den sinotubulären Übergang (Fläche und Höhe) bzw. die oberen Enden der Koronarostien zu bestimmen [22].

Der axiale Abstand zwischen Stentframe und Koronarostium („virtual transcatheter heart valve to coronary distance“ [VTC]) bzw. Stentframe und sinotubulärer („virtual transcatheter heart valve to sinotubular junction distance“ [VTSTJ]) Übergang sollte in solchen Fällen standardmäßig gemessen werden. Niedrige Werte

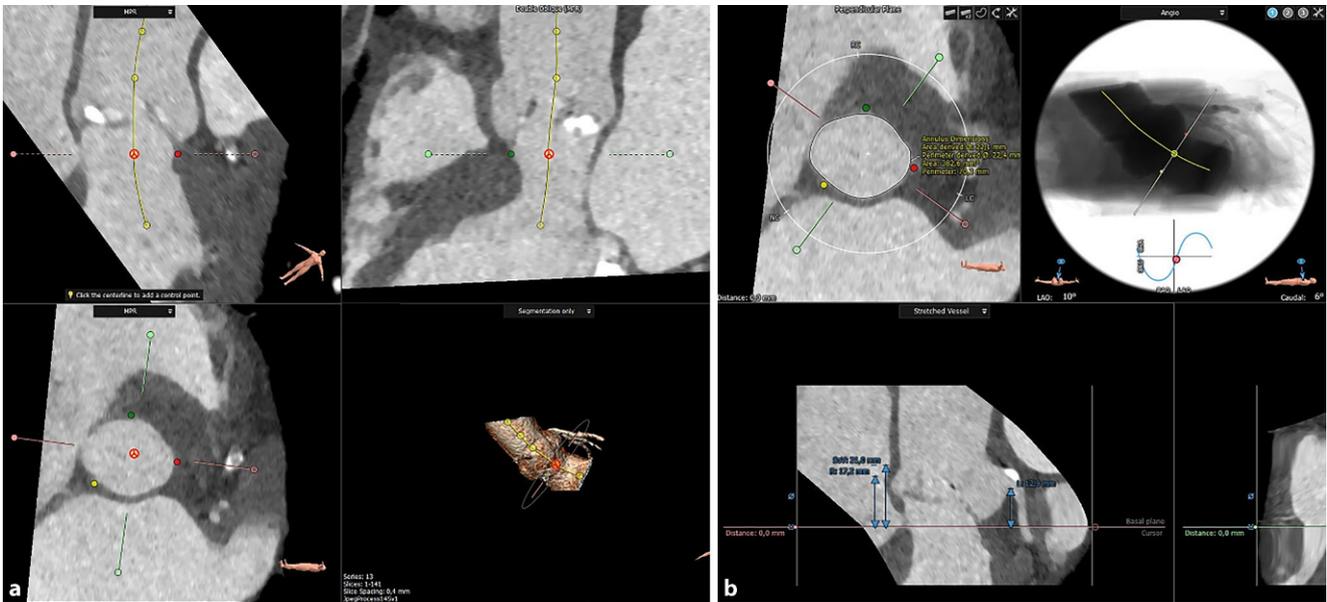
(beispielsweise VTC < 4 mm) erfordern ggf. spezielle Prozedurtechniken [23].

Nach chirurgischem Klappenersatz hängt der wahre Innendurchmesser von der implantierten Prothese ab [23], Artefakte erschweren die exakte Vermessung. Daher kann zur Prothesenwahl zusätzlich die ViV Aortic App (KRUTSCH ASSOCIATES INC., Minnetonka, MN, USA) Berücksichtigung finden.

### CT zur Planung eines kathetergestützten Mitralklappenersatzes

#### Native Mitralklappe

Im Gegensatz zur tubulären Struktur der Aortenklappe zeigt die Mitralklappe eine sattelförmige, nichtplanare Geometrie, wodurch die Erstellung eines zweidimensionalen CT-Modells für die Eingriffsplanung erschwert ist. Es wurde daher die vereinfachte „D-Shape“-Konfiguration eingeführt, bei der die beiden Trigona fibrosa durch eine virtuelle Linie verbunden sind und mit dem hinteren Teil des Mitralklappenrings ein „D“ bilden (■ Abb. 9). Das Vorderhorn wird in dieser Konfiguration vernachlässigt. Mit der „D-Shape“-Konfiguration lässt sich die planare Landezone der Prothese besser darstellen und reduziert das Risiko für eine Überdimensionierung der Prothese sowie eine LVOT-Obstruktion [24]. Zur Vermessung bieten sich 3D-Messungen an, die mithilfe von semiautomatischer Software durchgeführt werden und in hohem Maße reproduzierbar sind.



**Abb. 5** ▲ Auswertung der Prothesenlandungszone – hier mittels kommerziell erhältlicher TAVI-Auswerteapplikation (jedoch auch komplett manuell möglich). Zunächst werden die basalsten Ansatzpunkte in allen 3 Ebenen der multiplanaren Rekonstruktionen identifiziert und markiert (a). Die Software anguliert aus diesen Markierungen anschließend automatisch die Anulusebene, deren Fläche aus diesen Rekonstruktionen ebenso wie der Koronarabstand vermessen werden kann (b). Sämtliche Rekonstruktionen werden hier an dem nun als feste Ebene eingestellten Anulus ausgerichtet. Die Auswertung wurde in diesem Beispiel mittels einer kommerziell erhältlichen Software durchgeführt



**Abb. 6** ▲ Analyse der Koronarabstände

### Zustand nach chirurgisch implantierter biologischer Prothese oder Anuloplastierung in Mitralkappenposition

Für die kathetergestützte Therapie der Mitralklappe bei Patienten mit bereits chirurgisch implantierter biologischer Prothese oder Anuloplastierung erfolgt ebenfalls die Bestimmung der Dimensionen des Mitralkappenannulus.

Bei bereits implantiertem Material tritt hier ein sog. „Blurring“ auf, wodurch die Anulusdimension eher unterschätzt wird. Zur Größenselektion der spezifischen Prothese kann deshalb der wirkliche Innendiameter der Klappe oder des Ringes herangezogen werden (ViV App Mitral, KRUTSCH ASSOCIATES INC., Minnetonka, MN, USA).

### Bestimmung des Neo-LVOT

Ein relevanter Aspekt bei der präprozeduralen CT-Planung ist die Vermessung des „Neo-LVOT“ und die Risikoabschätzung einer LVOT-Obstruktion durch Simulation der Prothesenposition (▣ **Abb. 10, 11 und 12**). Die Prothesenimplantation verändert die Geometrie des LVOT, die durch das verlagerte anteriore Mitralsegel, den Prothesenstent und die „basal-mid“ anteroseptale Wand des linken Ventrikels gebildet wird. Als gefürchtete Komplikation kann es dabei zu einer Obstruktion des LVOT kommen, als Prädiktoren wurden u. a. ein verstärktes Hineinragen der Prothese in den linken Ventrikel, ein kleiner aortomitraler Winkel, eine geringe Cavumgröße des linken Ventrikels oder eine ausgeprägte basale Septumhypertrophie identifiziert [25].

Nach Einsetzen einer virtuellen Prothese sollte die Vermessung in der Systole in verschiedenen Ebenen erfolgen, die hierbei geringste Fläche sollte als minimale „Neo-LVOT“-Fläche betrachtet werden. Zusätzlich sollte die Distanz zwischen virtueller Prothese und interventrikulärem Septum gemessen werden.

Zur abschließenden Analyse des „Neo-LVOT“ sollte auch noch Echokardiographie-basiert das vordere Mitralsegel betrachtet werden, da es insbesondere bei TAVI-in-Ring zu einer relevanten LVOT-Obstruktion beitragen kann.

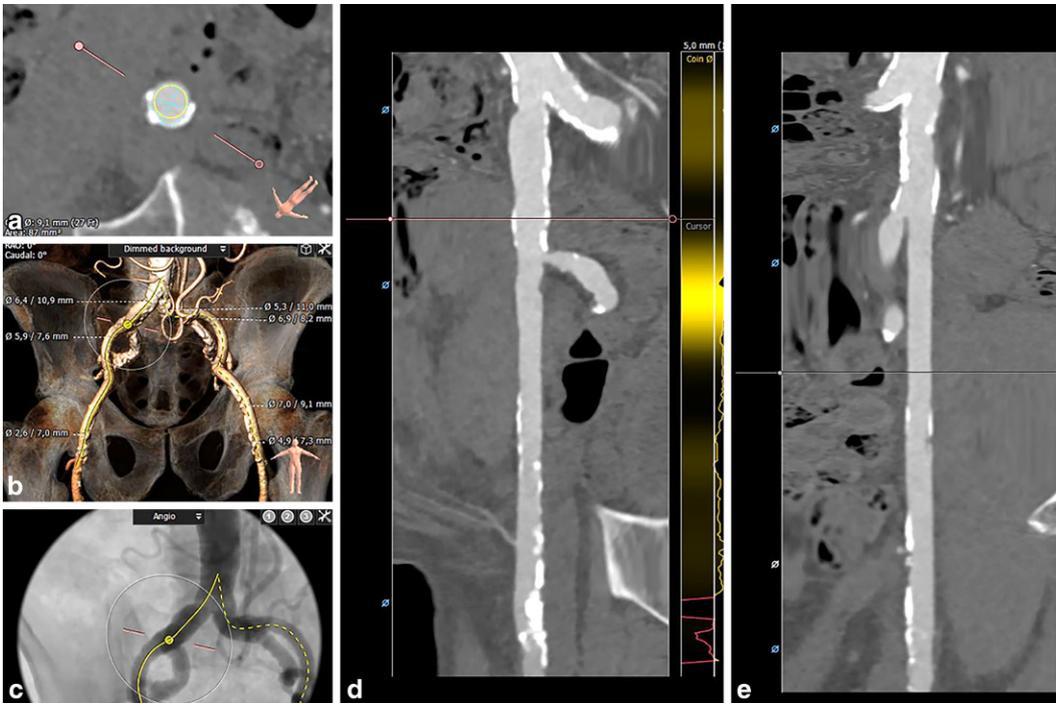
Bei TAVI in MAC („mitral annulus calcification“-) Fällen erfolgt dieselbe Analyse. Ergänzend sollte hier die Ausdehnung der anulären Verkalkung beschrieben werden, um eine sichere Verankerung zu evaluieren.

Abschließend muss der Zugangsweg im CT mit Fokus auf einen transeptalen Zugang analysiert werden.

### CT-Planung von Trikuspidalkappenprozeduren

#### Standarddiagnostik

Für die CT-Akquisition wird zur optimalen Kontrastierung der rechten Herzhöh-



**Abb. 7** ◀ Semiautomatisierte Darstellung und Analyse der Beckenzugangswege mittels kommerzieller erhältlicher Software. Bei starker Kalzifikation der Beckenarterie könnte der periprozedurale Einsatz einer Lithotripsie vorteilhaft sein



**Abb. 8** ▲ Analyse der A. subclavia rechts (a, c) und links (b, c) als alternative Zugangswege für eine kathetergestützte Aortenklappenimplantation

len ein dreiphasiges Kontrastmittelinjektionsprotokoll empfohlen [26]. Wesentliche Aspekte bei der Prozedurplanung vor Trikuspidalklappentherapie sind die Bestimmung der Anulusgröße, der Höhe und des Tenting-Winkels des Trikuspidalklappensegels, die Beurteilung der Landezone der Prothese, der rechtsventrikulären Herzhöhlen und die Beziehung zu wichtigen

Nachbarstrukturen. Aufgrund der komplexen nichtplanaren Anatomie des Trikuspidalklappenanulus bietet sich auch hier ein 3D-basierter Ansatz mit halbautomatischer Software an. Die Messungen sollten aufgrund der dynamischen Veränderungen während des Herzzyklus sowohl in der Endsystole als auch in der Mitte der Diastole durchgeführt werden [27].

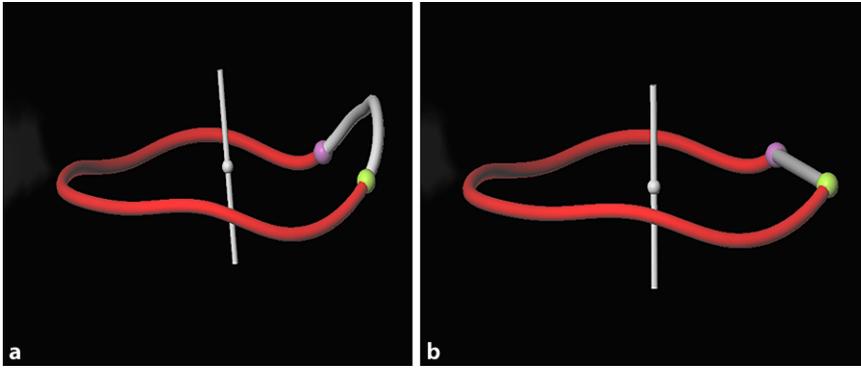
### Perkutane Trikuspidalklappenanuloplastie

Neben der T-TEER (trikuspidale Transkatheter-Edge-to-Edge-Reparatur) und der kathetergestützten Klappenimplantation in Trikuspidalposition stellt das Anuloplastieverfahren eine wichtige Behandlungsoption bei der Trikuspidalklappeninsuffizienz dar.

Zur Patientenselektion und Prozedurplanung ist eine Akquisition der CT-Bilder über den gesamten Herzzyklus unerlässlich. Es erfolgt zunächst die Bestimmung der Dimensionen des Trikuspidalklappenanulus. Je nach Größe kann dann der entsprechende Anuloplastierung, das sog. „Cardioband“, für die Implantation gewählt werden. Zusätzlich erfolgt eine Planung der Ankerposition zur Fixierung des Cardiobandes am Anulus ebenfalls im CT (Abb. 13). Der Abstand zwischen Anulus und rechter Koronararterie (RCA) ist ein weiterer entscheidender Parameter zur Patientenselektion. Ein Abstand < 5 mm ist hier als kritisch zu betrachten und ist mit dem Risiko einer Verletzung der RCA assoziiert.

### Perkutane Trikuspidalklappenimplantation

Beim heterotopen Trikuspidalklappenersatz erfolgt die Verankerung im Bereich der



**Abb. 9** ▲ Semiautomatische Mitralanulussegmentation. Sattelförmiger Mitralanulus mit Vorderhorn (a, b) „Shape“-Konfiguration des Anulus (b) (pink: mediales fibröses Trigonum; grün: laterales fibröses Trigonum). Die Auswertung wurde in diesem Beispiel mittels 3mensio (3mensio Medical Imaging, Utrecht, Niederlande) durchgeführt

V. cava superior bzw. inferior. Dementsprechend sind eine exakte Analyse der Dimensionen dieser Strukturen in verschiedenen Abschnitten (von Höhe der A. pulmonalis bis zu den Lebervenen) sowie eine detaillierte Analyse der Größe des rechten Vorhofes notwendig (■ Abb. 14 und 15).

### CT-Planung von Pulmonalklappenprozeduren

Die thorakale CT inklusive einer CT-Angiographie der Pulmonalarterien ist die bevorzugte Bildgebungsmethode zur Planung eines operativen oder interventionellen Pulmonalklappenersatzes. Sie ermöglicht nicht nur im Vorfeld eine Darstellung der Lagebeziehungen aller thorakalen Gefäßabschnitte zu den übrigen mediastinalen Strukturen oder auch eine gute Diagnostik peripherer Pulmonalstenosen, sondern eignet sich speziell nach Stentimplantationen auch zur Kontrolle des Interventionserfolges [28, 29].

### CT-Angiographie des Sinus coronarius

Die CT-Angiographie des Sinus coronarius (beispielsweise vor Implantation eines Carillon Mitral Contour Systems oder Coronary Sinus Reducers) nimmt in der klinischen Routine eine untergeordnete Rolle ein. Zwar lieferten kleinere Studien Hinweise auf eine Optimierung in der Prozedurplanung, doch zeigt sich im Alltag oft eine unzureichende Kontrastierung des Koronarsinus, insbesondere im Vergleich zur invasiven Angiographie [30, 31].

### Post-Implantations-CT

Eine erneute CT nach einer strukturellen Intervention hat inzwischen bei speziellen Fragestellungen nach Komplikationen oder zur weiteren Optimierung des Verfahrens bei entsprechender klinischer Indikation eine feste Rolle eingenommen. Als CT-Protokoll empfiehlt sich eine EKG-getriggerte Multiphase-Sequenz, eingeblendet auf die Prothesenlandungszone. Nach TAVI zählen neben Obstruktionen der Koronarien oder paravalvulären Leckagen beispielsweise auch gedeckte Rupturen des Aortenannulus (= Pseudoaneurysma) dazu, die – sollten sie initial asymptomatisch bleiben – überwiegend einen benignen Verlauf mit einer Befundkonstanz oder gar -regredienz aufweisen [20]. Mittels CT kann auch die Planung einer Okkluderimplantation zur Behandlung einer paravalvulären Insuffizienz erfolgen (■ Abb. 16).

### HALT/Thrombosen

Sollten im Verlauf nach kathetergestütztem Verfahren Symptome oder echokardiographische Kriterien einer Klappendysfunktion auftreten, ist die kardiale CT Diagnostik der Wahl bei der Frage nach thrombotischen Prothesenauflagerungen („hypoattenuated leaflet thickenings“ [HALT]) [33]. Zur Diagnosesicherung einer Prothesenthrombose sollte diese in mindestens 2 Ebenen der MPRs zu 2 verschiedenen Zeitpunkten des Herzzyklus sichtbar sein (■ Abb. 17). Zudem kann beurteilt werden, ob die Thrombosen bereits zu einer Restriktion der Prothesenbewegung führen („reduced leaflet motion“ [RLM]).

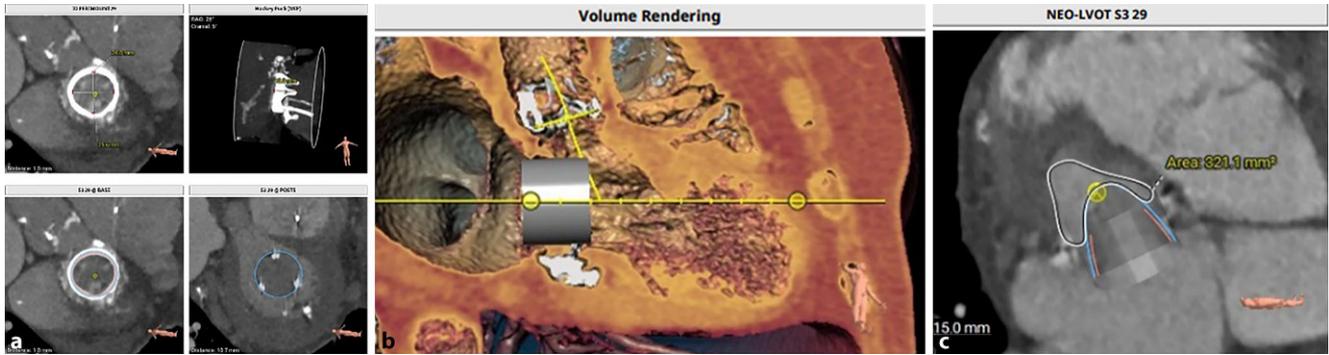
### Endokarditis

Die große Stärke der CT ist aufgrund ihrer hohen örtlichen und isotropen Auflösung die Beurteilung von perivalvulären Veränderungen. Ein Abszess zeigt sich im CT meist mit einer zentralen nekrotischen Komponente (teils heterogen, niedrige CT-Dichtewerte um 20–50 Hounsfield Unit [HU]) [34]. Nicht selten ist ein peripherer hyperintenser Rand nachweisbar, der in einer Spätphase (2. Scan 70 s nach Kontrastmittelapplikation oder sogar 2–3 min) gut beurteilt werden kann. Durch die Destruktion des Klappenrings kann es zu einer Dehiszenz und perivalvulären Leckagen kommen, die sich im CT als Prothesenfehlstellung mit Gewebdefekt zwischen Anulus und Prothese darstellen. Vegetationen mit einer Größe über 10 mm können mit der CT verlässlich detektiert werden, wobei die Detektion einer Endokarditis bei implantierter TAVI-Prothese erschwert ist ([34]; ■ Tab. 1).

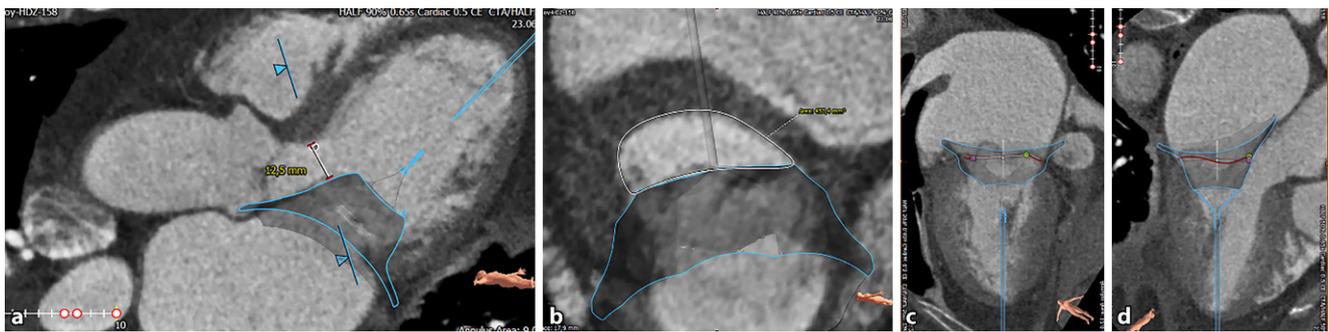
### Kardiale Computertomographie zur periprozeduralen Planung elektrophysiologischer Interventionen

Die k-CT nimmt inzwischen einen festen Stellenwert in der interventionellen Elektrophysiologie (EP) sowohl im Rahmen der Katheterablation von Vorhofflimmern, anderen atrialen Arrhythmien, ventrikulären Tachykardien (VT) als auch vor Okkluderimplantation (LAAC) des linken Vorhofes ein. Bei all diesen Prozeduren kann die k-CT dem besseren Verständnis der Anatomie dienen, Anomalien detektieren, den Abstand zu benachbarten Organstrukturen evaluieren (z. B. Ösophagus, N. phrenicus) und ggf. intrakavitäre Thromben oder Raumforderungen erkennen. Auch zum Ausschluss von seltenen postprozeduralen Komplikationen wie atrioösophagealen Fistel oder Pulmonalvenenstenosen nach Vorhofablation stellt die k-CT ein Standardverfahren dar.

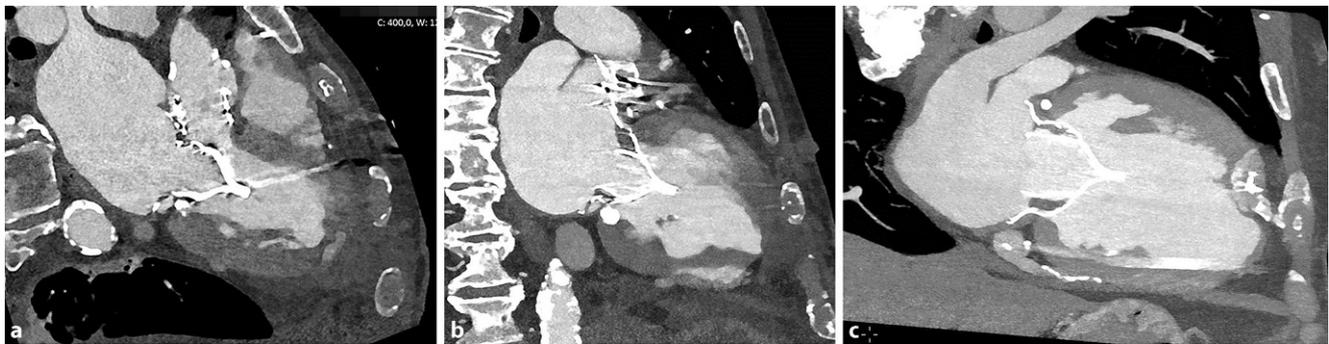
Der Vorteil der k-CT gegenüber der konventionellen Echokardiographie ist die höhere räumliche Auflösung, die Unabhängigkeit von etwaigen Schallfenstern und Untersuchern und die damit verbundenen einheitlichen Messgrößen. Für eine selbstständige k-CT-Befundung sind feste Kriterien im Sinne einer Level-2 oder 3 Zu-



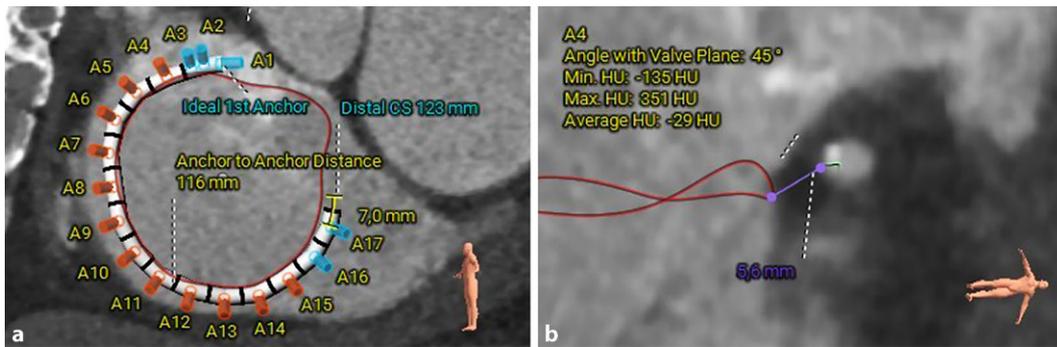
**Abb. 10** ▲ CT-Planung vor TAVI-Implantation in eine Mitralklappenprothese. Analyse der Anulusdimensionen bei Zustand nach biologischer Mitralklappenprothese (Perimount 29 mm) (a), Simulation einer virtuellen TAVI-Implantation (b), Vermessung des „Neo-LVOT“ (c)



**Abb. 11** ▲ CT-Planung vor Tendyne-Implantation. Simulation einer Tendyne-Implantation zur Bestimmung des „Neo-LVOT“ (a, b); Analyse des transapikalen Zugangsweges in der Systole (wie hier gezeigt, c und d) und in der Diastole



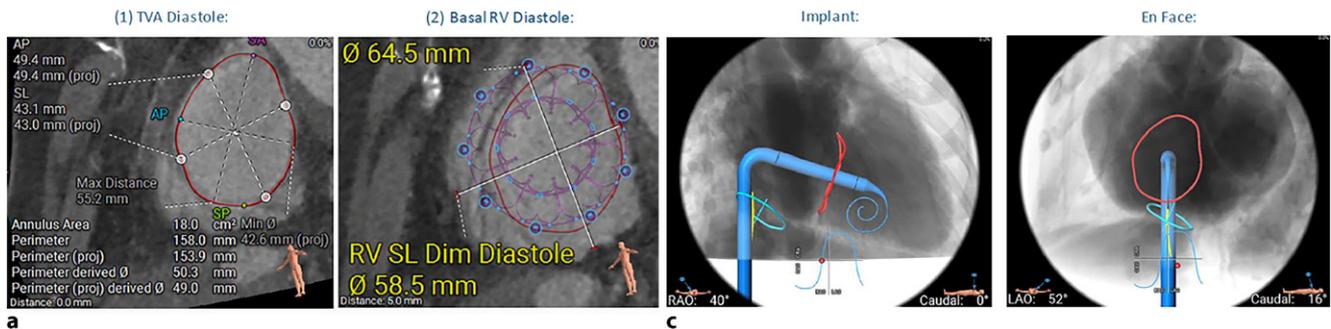
**Abb. 12** ▲ a–c Tendyne-Implantation mit daraus resultierender Obstruktion des linksventrikulären Ausflusstraktes



**Abb. 13** ▲ CT-Planung vor Cardiobandimplantation. Analyse der Anulusdimensionen (a), Bestimmung der Distanz zwischen Anulus und RCA individuell für alle Anker (b)



**Abb. 14** ▲ Analyse der Dimensionen der V. cava superior (a, b) und inferior (c) zur Evaluation einer heterotopen Trikuspidalklappenimplantation



**Abb. 15** ▲ Analyse zur Evaluation eines orthotopen Klappenersatzes mittel Evoque. Analyse der Anulusdimensionen (a) und des Oversizings (b), Bestimmung des Implantationsviews (c)

satzqualifikation erforderlich. Auch lassen sich die mit k-CT gewonnenen Bilder, z. B. im Rahmen von Vorhofflimmer- und VT-Ablationen, in die mittels intraprozedural erstellter elektroanatomischer 3D erstellte Anatomie integrieren [35]. Durch die Detektion von anatomischen Besonderheiten kann die Wahl des Ablationssystems (Single-Shot Device vs. Point-by-Point-Ablation) optimiert oder benachbarte Organstrukturen können durch angepasste Ablationslinien/Energiewahl geschont werden. Gerade bei Patienten mit angeborenen Vitiern kann dies die Ablationsprozedur deutlich vereinfachen. Andererseits erlaubt die intraprozedurale hochauflösende elektromagnetische 3D-Rekonstruktion ebenfalls eine sehr präzise Darstellung der Anatomie. Deswegen muss die potenzielle Steigerung der prozeduralen Effektivität oder Sicherheit während z. B. einer Vorhofflimmerablation durch vorherige k-CT auch in Anbetracht der zusätzlichen Strahlenexpo-

sition für die Patienten kritisch betrachtet werden [36].

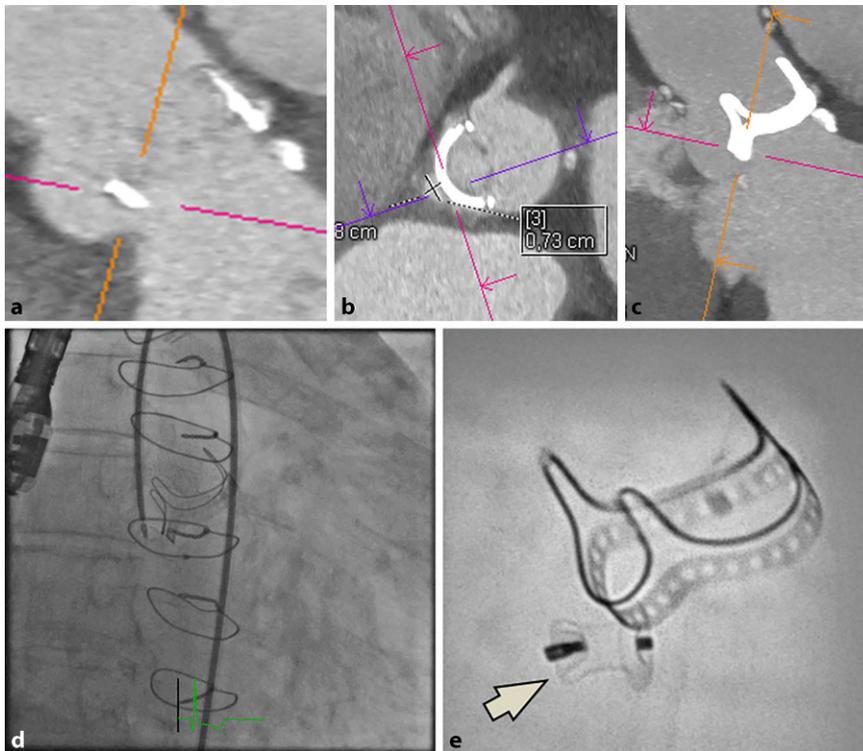
### Ablation von Vorhofflimmern und ventrikulären Tachykardien

Auch wenn die konventionelle Echokardiographie weitverbreitet und einfach zugänglich ist und die kardiale Magnetresonanztomographie (k-MRT) zur Differenzierung von strukturellen Herzerkrankungen weiterhin den Goldstandard darstellt, hat sich die hochauflösende k-CT deutlich weiterentwickelt – weg von der reinen Anatomiedarstellung hin zu einem funktionellen Tool für die EP.

So kann z. B. der Ausschluss einer KHK (bei niedriger Prätestwahrscheinlichkeit) vor Beginn einer etwaigen medikamentösen antiarrhythmischen Therapie mit Klasse-1C-Antiarrhythmika (z. B. Flecainid) mittels k-CT erfolgen. Die Durchführung einer k-CT bei lediglich neu aufgetretenem Vor-

hofflimmern ohne begleitende typische Ischämiesymptomatik wird jedoch nach aktuellen Leitlinien nicht empfohlen [37].

Darüber hinaus dient die k-CT neben den anatomischen Details zunehmend dem besseren und schnelleren Substratverständnis bei sowohl Vorhofflimmer- als auch VT-Ablation. Bezüglich der präprozeduralen Bildgebung im Kontext von VT-Ablation wird in den aktuellen europäischen Leitlinien nicht eindeutig differenziert, welche Modalität Anwendung finden soll. Es wird jedoch auf einen maximalen präprozeduralen Informationsgewinn mittels kardialer Bildgebung hingewiesen, um bereits im Vorfeld Details für den Zugangsweg und das Substrat zu erlangen (Endo-, Epi-Zugang), moderne Ablationsverfahren (z. B. bipolare Ablation [38]). Die k-MRT stellt den Goldstandard dar, ist aber nicht immer verfügbar und bei Deviceträgern häufig mit Hindernissen verbunden. Als mögliche Alternative



**Abb. 16** ▲ CT-Planung einer Okkluderimplantation zur Behandlung einer paravalvulären Insuffizienz nach biologischem Aortenklappenersatz. Präinterventionelle CT-Darstellung und Vermessung der paravalvulären Insuffizienz inklusive Bestimmung der passenden angiographischen Projektionsebene (a, b, c), invasives Angiogramm während der Okkluderimplantation (d) sowie Darstellung des implantierten Okkluders (Pfeil) (e) [32]

zur k-MRT betonen deswegen zahlreiche Studien den Stellenwert der k-CT nicht nur zur Prozedurplanung vor z. B. VT-Ablation (Anatomie), sondern auch zur Beurteilung des arrhythmogenen Substrates durch Wandausdünnungen. Solche Ausdünnungen stellen „Low-voltage“-Areale dar und sind mit „late abnormal ventricular activation“ (LAVAs) als Quelle ventrikulärer Reentrytachykardien assoziiert, dies insbesondere bei Patienten mit ischämischer Kardiomyopathie [39]. Hier ist die k-CT der Echokardiographie und sogar der k-MRT überlegen (128 Zeilen Multislice vs. 1,5 T MRT) und kann mit einer räumlichen Auflösung von 0,4 mm vs. 1,3 mm die Ausdünnung darstellen [39, 40]. Darüber hinaus wird der Verlauf von Koronarien und z. B. des N. phrenicus sehr präzise dargestellt, was die Durchführung von epikardialen Ablationen (Zugang, Ablationsort) deutlich vereinfacht. Die oftmals nicht vorhandene Wandausdünnung bei nicht-ischämischer Kardiomyopathie ist nicht ideal für die o. g. k-CT-Methode (■ **Abb. 18, 19 und 20**). Bei diesen Patienten gelingt

eine Charakterisierung des Substrates jedoch auch mittels k-CT durch die Methode des sog. „late-iodine enhancements“ (späte Phase der Jodanreicherung [41]). Im aktuellen Konsensdokument der EHRA wird auf den Stellenwert der Bildgebung mittels I-MRT und k-CT für die EP explizit hingewiesen [42].

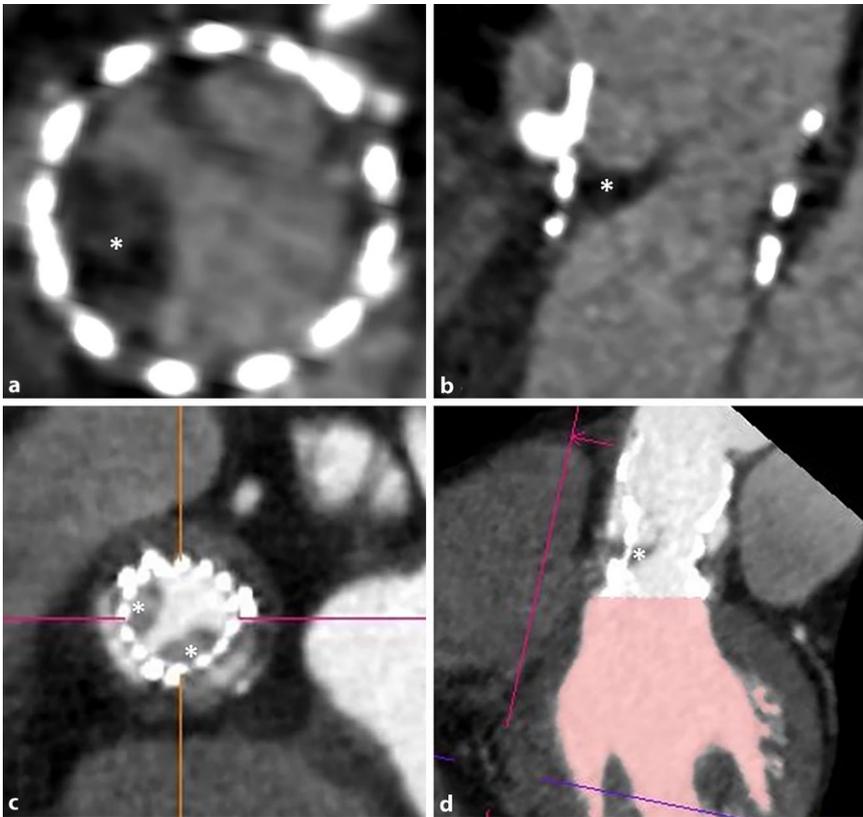
### Linksatrialer Vorhofohrverschluss

Neben der Katheterablation ermöglicht die präprozedurale Bildgebung mittels k-CT auch vor geplantem LAAC eine bessere Planung und Wahl der optimalen Größe des Devices. Ein möglicher Vorteil der k-CT gegenüber der transösophagealen Echokardiographie (TEE) ist eine detailliertere und vollumfängliche 3D-Darstellung der LAA-Anatomie. Die LAAC-Prozedur selbst findet üblicherweise unter Fluoroskopie und TEE-Kontrolle statt. Kommerziell erhältliche Software ermöglicht jedoch eine Integration der CT-Aufnahmen in die Fluoroskopie und verbessert somit das Verständnis der mitunter komplexen Anato-

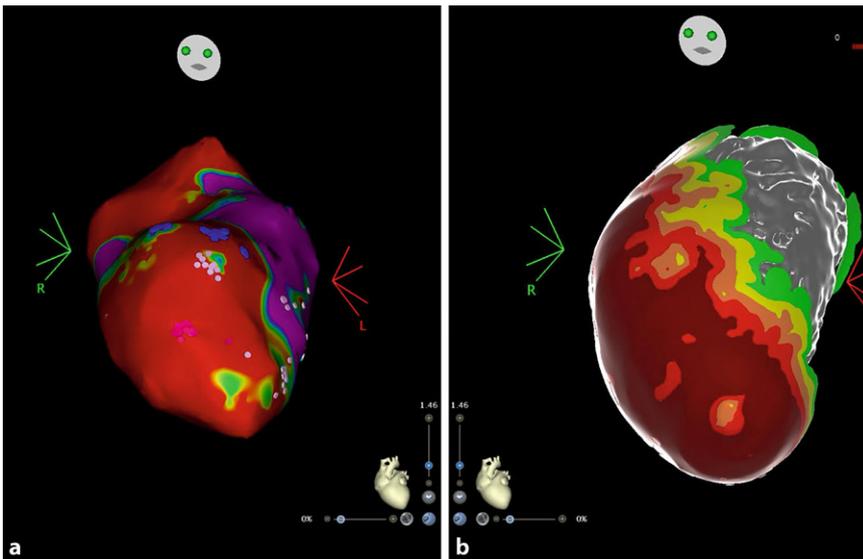
mie des LAA [43]. Ein aktuelles Konsensdokument empfiehlt eine präprozedurale Bildgebung mittels TEE oder k-CT. Gleiches gilt für die Verlaufskontrollen sowie im Falle thrombotischer Auflagerungen auf dem Device [44].

### Zusammenfassung und Ausblick

Die kardiale Computertomographie eignet sich über die weitreichend etablierte Diagnostik hinaus zur strukturierten Planung von koronaren, strukturellen und elektrophysiologischen Prozeduren. Während die Durchführung einer k-CT zur Planung der Implantation einer transfemorale Aortenklappenprothese bereits in der klinischen Praxis unumgänglich ist, erschließen sich mit der technischen Weiterentwicklung von räumlicher und zeitlicher Auflösung der CT-Geräte neue Anwendungsfelder. Gemeinsame Zielsetzung der CT-Planung ist es, die Patientensicherheit und das langfristige Ergebnis der jeweiligen Intervention durch dezidierte Strategieplanung, Materialienvorauswahl und die Erkennung von Risiken weiter zu verbessern. Dieser komplexe Prozess von der Indikationsstellung und Durchführung der k-CT über die Auswertung bis hin zur resultierenden Schlussfolgerung erfordert insbesondere bei unklaren und komplexen Befunden die Einbindung der Fachdisziplin Kardiologie von der k-CT-Diagnostik bis hin zur interventionellen Therapie. Um eine hohe klinische Qualität und optimale Ergebnisse für die Patienten zu erreichen, ist in beiden Bereichen eine Qualitätssicherung erforderlich, wie bereits von den entsprechenden Curricula der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie festgelegt.

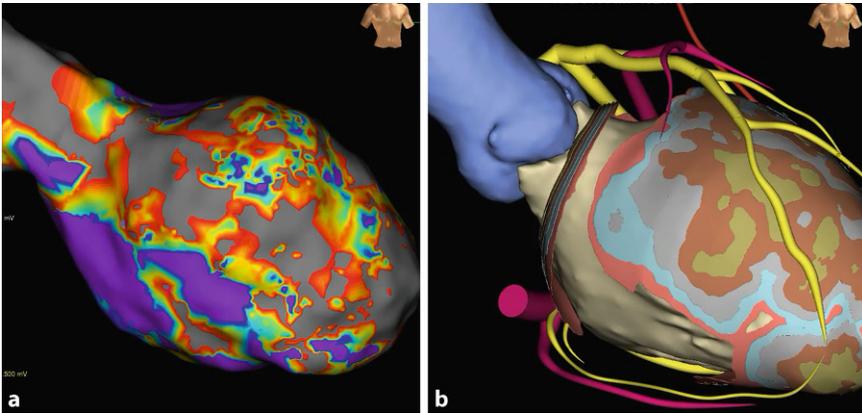


**Abb. 17 ▲** Thrombotische Klappenauflagerungen auf einer TAVI-Prothese. Thrombotische Auflagerungen (mit Sternchen gekennzeichnet) auf einer SAPIEN 3 TAVI-Prothese in axialer (a) und sagittal-obliquier (b) sowie auf einer Evolut R TAVI-Prothese in axialer (c) und sagittal-obliquier (d) CT-Rekonstruktion

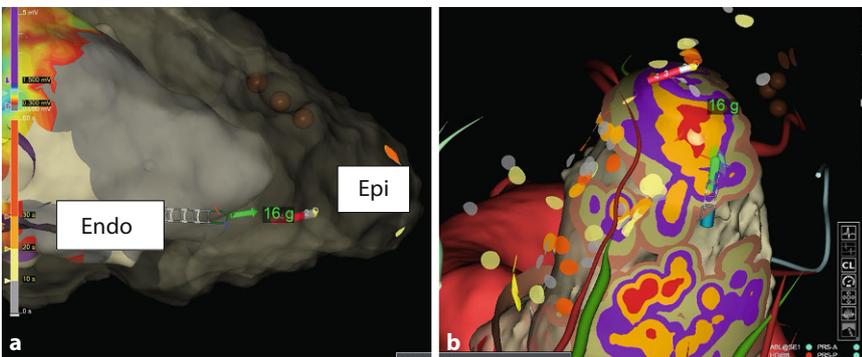


**Abb. 18 ▲** a Elektroanatomisches Map des linken Ventrikels endokardial (rot dichte Narbe, lila gesundes Gewebe). b k-CT mit In-Heart-Software (rot Wanddicke < 2 mm dichte Narbe)

<b>Tab. 1</b> Relevante Messungen im Rahmen der CT-basierten Prozedurplanung	
Allgemein	Vorhersage optimaler fluoroskopischer Projektionswinkel für die Implantation der Devices
	Beurteilung des Gefäßzugangsweges (transfemoral, trans-subclavia, transapikal, transseptal, transcaval)
Transkatheteraortenklappenimplantation	Beurteilung der Anatomie und Morphologie der Aortenklappe
	Beurteilung und Dimensionen des Aortenanus
	Visualisierung und Quantifizierung von Ring- und LVOT-Verkalkungen (kein/gering/moderat/schwer)
	Beurteilung des Risikos einer Koronararterienobstruktion
Ergänzend bei Valve-in-Valve oder TAVI-in-TAVI in Aortenklappenposition	Beurteilung Innendurchmesser der zuvor implantierten Prothese
	Beurteilung des Risikos einer Koronararterienobstruktion
Transkathetermitralklappenimplantation	Beurteilung der Anatomie und Morphologie der Mitralklappe (Höhe und Neigungswinkel der Mitralklappen)
	Beurteilung und Dimensionierung des Mitralanus
	Visualisierung und Quantifizierung der Mitralingverkalkung
	Vorhersage des Neo-LVOTs inklusive Risikobewertung einer LVOT-Obstruktion
	Beurteilung der Device-Landezone
	Beurteilung Dimensionierung und Funktion der linksventrikulären Herzhöhlen
Ergänzend bei Valve-in-Valve und Valve-in-Ring in Mitralklappenposition	Dimensionierung Innendiameter der Klappe oder des Ringes
	Beurteilung Zugangsweg transseptal (falls nicht möglich transapikal)
Transkathetertrikuspidalklappenimplantation	Beurteilung der Anatomie und Morphologie der Trikuspidalklappe
	Beurteilung der umgebenden Strukturen (v. a. Abstand zwischen Anulus und rechter Koronararterie [RCA])
	Beurteilung der Device-Landezone
	Beurteilung Dimensionierung und Funktion der rechtsseitigen Herzhöhlen
Transkathetertrikuspidalklappenanuloplastie	Planung der Ankerposition zur Fixierung des Devices am Anulus
Orthotope Trikuspidalklappenimplantation	Beurteilung der Anatomie und Morphologie der Trikuspidalklappe
	Abstand zur rechten Koronararterie
	Beurteilung der Device-Landezone
	Beurteilung der Abmessungen und Funktion des rechten Ventrikels
	Beurteilung der Position von SM/ICD-Sonden
Heterotope Trikuspidalklappenimplantation	Beurteilung der Abmessungen der unteren Hohlvene, des Abstands zwischen der Verbindungsebene der unteren Hohlvene und dem rechten Vorhof und der ersten Lebervene, Größe des rechten Vorhofs
Pulmonalklappeninterventionen	Darstellung peripherer Pulmonalstenosen
	Planung eines interventionellen und operativen Pulmonalklappenersatzes
	Kontrolle nach Stentimplantationen
LAA-Okkluder	Dimensionen und Konfiguration des LAA (LAA Ostium und Tiefe)



**Abb. 19** ▲ **a** Elektroanatomisches Map des linken Ventrikels endokardial (*rot* dichte Narbe, *lila* gesundes Gewebe). **b** k-CT mit In-Heart-Software (Farbmuster repräsentieren Wanddicken; *gelb* Koronarien, *rot* Koronarvenensinus, *blau* Aorta)



**Abb. 20** ▲ **a** Elektroanatomisches Map (EAM) des linken Ventrikels endo- und epikardial; **b** Imageintegration eines k-CT-Bildes in das EAM

Korrespondenzadresse



**Prof. Dr. Alexander Ghanem**  
Klinik für Innere Medizin und Kardiologie,  
Asklepios Klinik Nord-Heidberg  
Tangstedter Landstr. 400, Hamburg, Hamburg,  
Deutschland  
aghanem@web.de



**Prof. Dr. Grigorios Korosoglou**  
Klinik für Kardiologie und Angiologie, GRN-  
Klinik Weinheim  
Röntgenstr. 1, 69469 Weinheim, Deutschland  
gkorosoglou@hotmail.com

Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Byrne RA, Rossello X, Coughlan JJ et al (2023) 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes. *Eur Heart J* 44:3720–3826
2. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC et al (2024) 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 45:3415–3537
3. Siontis GC, Mavridis D, Greenwood JP et al (2018) Outcomes of non-invasive diagnostic modalities for the detection of coronary artery disease: network meta-analysis of diagnostic randomised controlled trials. *BMJ* 360:k504
4. SCOT-HEART Investigators, Newby DE, Adamson PD et al (2018) Coronary CT Angiography and

- 5-Year Risk of Myocardial Infarction. *N Engl J Med* 379:924–933
5. Deseive S, Chen MY, Korosoglou G et al (2015) Prospective Randomized Trial on Radiation Dose Estimates of CT Angiography Applying Iterative Image Reconstruction: The PROTECTION V Study. *JACC Cardiovasc Imaging* 8:888–896
6. Hausleiter J, Martinoff S, Hadamitzky M et al (2010) Image quality and radiation exposure with a low tube voltage protocol for coronary CT angiography results of the PROTECTION II Trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 3:1113–1123
7. Rolf A, Schmermund A, Hell MM et al (2023) Qualitätskriterien für die Erbringung kardialer CT-Leistungen: Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie. *Kardiologie* 17:81–94
8. Hosch W, Stiller W, Mueller D et al (2012) Reduction of radiation exposure and improvement of image quality with BMI-adapted prospective cardiac computed tomography and iterative reconstruction. *Eur J Radiol* 81:3568–3576
9. Collet C, Sonck J, Leipsic J et al (2021) Implementing Coronary Computed Tomography Angiography in the Catheterization Laboratory. *JACC Cardiovasc Imaging* 14:1846–1855
10. Chen J, Wetzel LH, Pope KL, Meek LJ, Rosamond T, Walker CM (2021) FFRCT: Current Status. *AJR Am J Roentgenol* 216:640–648
11. Fairbairn T, FISH and CHIPS investigators (2023) CT FFR in stable heart disease and Coronary Computed Tomographic Angiography helps improve patient care and societal costs. *Eur Heart J* 44:ehad655.161
12. Collet C, Miyazaki Y, Ryan N et al (2018) Fractional Flow Reserve Derived From Computed Tomographic Angiography in Patients With Multivessel CAD. *J Am Coll Cardiol* 71:2756–2769
13. Dawson LP, Lum M, Nerleker N, Nicholls SJ, Layland J (2022) Coronary Atherosclerotic Plaque Regression: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol* 79:66–82
14. Shaw LJ, Blankstein R, Bax JJ et al (2021) Society of Cardiovascular Computed Tomography / North American Society of Cardiovascular Imaging—Expert Consensus Document on Coronary CT Imaging of Atherosclerotic Plaque. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 15:93–109
15. Kim HY, Doh J-H, Lim H-S et al (2017) Identification of Coronary Artery Side Branch Supplying Myocardial Mass That May Benefit From Revascularization. *JACC Cardiovasc Interv* 10:571–581
16. Kurogi K, Ishii M, Nagatomo T et al (2023) Mean density of computed tomography for predicting rotational atherectomy during percutaneous coronary intervention. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 17:120–129
17. Fujino A, Mintz GS, Matsumura M et al (2018) A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion. *EuroIntervention* 13:e2182–e2189
18. Hong S-J, Kim B-K, Cho I et al (2021) Effect of Coronary CTA on Chronic Total Occlusion Percutaneous Coronary Intervention: A Randomized Trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 14:1993–2004
19. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S et al (2019) Computed Tomography Imaging in the Context of Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI)/Transcatheter Aortic Valve Replacement (TAVR): An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *JACC Cardiovasc Imaging* 12:1–24
20. Breitbart P, Minners J, Pache G et al (2020) Long-term follow-up of patients with contained annulus ruptures after TAVI: the EuropeAN COntained Rupture (ENCORE) registry. *EuroIntervention* 16:83–88
21. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F et al (2021) ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2022(43):561–632
22. Tang GHL, Spencer J, Rogers T et al (2023) Feasibility of Coronary Access Following Redo-TAVR for Evolut Failure: A Computed Tomography Simulation Study. *Circ Cardiovasc Interv* 16:e13238
23. Tarantini G, Dvir D, Tang GHL (2021) Transcatheter aortic valve implantation in degenerated surgical aortic valves. *EuroIntervention* 17:709–719
24. Weir-McCall JR, Blanke P, Naoum C, Delgado V, Bax JJ, Leipsic J (2018) Mitral Valve Imaging with CT: Relationship with Transcatheter Mitral Valve Interventions. *Radiology* 288:638–655
25. Yoon S-H, Bleiziffer S, Latib A et al (2019) Predictors of Left Ventricular Outflow Tract Obstruction After Transcatheter Mitral Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv* 12:182–193
26. Pulerwitz TC, Khalique OK, Leb J et al (2020) Optimizing Cardiac CT Protocols for Comprehensive Acquisition Prior to Percutaneous MV and TV Repair/Replacement. *JACC Cardiovasc Imaging* 13:836–850
27. van Rosendaal PJ, Joyce E, Katsanos S et al (2016) Tricuspid valve remodelling in functional tricuspid regurgitation: multidetector row computed tomography insights. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 17:96–105
28. Ferraz Cavalcanti PE, Sá MPBO, de Lins RFA et al (2020) Three-step preoperative sequential planning for pulmonary valve replacement in repaired tetralogy of Fallot using computed tomography. *Eur J Cardiothorac Surg* 59:333–340
29. Sachdeva R, Valente AM, Armstrong AK et al (2020) ACC/AHA/ASE/HRS/ISACHD/SCAI/SCCT/SCMR/SOPE 2020 Appropriate Use Criteria for Multimodality Imaging During the Follow-Up Care of Patients With Congenital Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee and Appropriate Use Criteria Task Force, American Heart Association, American Society of Echocardiography, Heart Rhythm Society, International Society for Adult Congenital Heart Disease, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Pediatric Echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 75:657–703
30. Rottländer D, Schneider T, Degen H, Laufenberg M, Chatrou M, Haude M Coronary sinus to mitral valve annulus topography and response to the percutaneous coronary sinus-based mitral valve contour system. <https://eurointervention.pconline.com/article/coronary-sinus-to-mitral-valve-annulus-topography-and-response-to-the-percutaneous-coronary-sinus-based-mitral-valve-contour-system>. Zugegriffen: 16. Sept. 2024
31. Rottländer D, Degen H, Haude M The Carillon: strategies for optimal patient selection and optimised results. <https://eurointervention.pconline.com/article/the-carillon-strategies-for-optimal-patient-selection-and-optimised-results>. Zugegriffen: 16. Sept. 2024
32. Hell MM, Achenbach S (2019) CT support of cardiac structural interventions. *Br J Radiol* 92:20180707
33. Capodanno D, Petronio AS, Prendergast B et al (2017) Standardized definitions of structural deterioration and valve failure in assessing long-term durability of transcatheter and surgical aortic bioprosthetic valves: a consensus statement from the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) endorsed by

- the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 38:3382–3390
34. Khalique OK, Veillet-Chowdhury M, Choi AD, Feuchtner G, Lopez-Mattei J (2021) Cardiac computed tomography in the contemporary evaluation of infective endocarditis. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 15:304–312
  35. Kistler PM, Earley MJ, Harris S et al (2006) Validation of three-dimensional cardiac image integration: use of integrated CT image into electroanatomic mapping system to perform catheter ablation of atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 17:341–348
  36. Di Cori A, Zucchelli G, Faggioni L et al (2021) Role of pre-procedural CT imaging on catheter ablation in patients with atrial fibrillation: procedural outcomes and radiological exposure. *J Interv Card Electrophysiol* 60:477–484
  37. Joglar JA, Chung MK, Armbuster AL et al (2023) ACC/AHA/ACCP/HRS Guideline for the Diagnosis and Management of Atrial Fibrillation: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 2024(149):e1–e156
  38. Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, de Riva M et al (2022) ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J* 2022(43):3997–4126
  39. Ghannam M, Cochet H, Jais P et al (2018) Correlation between computer tomography-derived scar topography and critical ablation sites in postinfarction ventricular tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 29:438–445
  40. Stokar J, Leibowitz D, Durst R, Shaham D, Zwas DR (2019) Echocardiography overestimates LV mass in the elderly as compared to cardiac CT. *PLoS ONE* 14:e224104
  41. Pontone G, Rossi A, Guglielmo M et al (2022) Clinical applications of cardiac computed tomography: a consensus paper of the European Association of Cardiovascular Imaging-part II. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 23:e136–e161
  42. Deneke T, Kutyifa V, Hindricks G et al (2024) Pre- and post-procedural cardiac imaging (computed tomography and magnetic resonance imaging) in electrophysiology: a clinical consensus statement of the European Heart Rhythm Association and European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology. *Europace* 26:euae108
  43. Wang DD, Eng M, Kupsy D et al (2016) Application of 3-Dimensional Computed Tomographic Image Guidance to WATCHMAN Implantation and Impact on Early Operator Learning Curve: Single-Center Experience. *JACC Cardiovasc Interv* 9:2329–2340
  44. Saw J, Holmes DR, Cavalcante JL et al (2023) SCAI/HRS expert consensus statement on transcatheter left atrial appendage closure. *Heart Rhythm* 20:e1–e16

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.

## Position paper of the German Cardiac Society on cardiac computed tomography for periprocedural planning and performance of cardiac interventions. From the Committee for Clinical Cardiovascular Medicine

The significance of cardiac computed tomography (CT) for the diagnosis or exclusion of coronary artery disease (CAD) is firmly established in the recommendations of the guidelines in the sense of an extended risk stratification and treatment management. Technological advances are now paving the way for new applications beyond diagnostics in periprocedural planning and guidance of cardiac interventions. Coronary CT angiography enables the noninvasive, patient-specific selection of strategic approaches including lesion preparation. In structural interventions the exact three-dimensional analysis of dimensions, spatial resolution and three-dimensional relationships as well as the appropriate selection of implants are made possible. While cardiac CT is already indispensable for preprocedural planning in transcatheter aortic valve implantation (TAVI), the procedure is also increasingly being utilized in invasive cardiology for planning of other structural and coronary interventions as well as electrophysiological procedures. The aim of this position paper is to categorize the areas of application of cardiac CT as a supportive method for cardiac interventions and to define standards for its application and interpretation.

### Keywords

Chronic coronary syndrome · Cardiac computed tomography · Coronary artery disease · Valvular diseases · Structural heart disease

### Affiliations

- <sup>1</sup> Abteilung für Kardiologie, Goethe Universität Frankfurt, Frankfurt, Deutschland
- <sup>2</sup> Klinik für Kardiologie und Angiologie, Universitätsherzzentrum Freiburg – Bad Krozingen, Bad Krozingen, Deutschland
- <sup>3</sup> Klinik III für Innere Medizin, Klinik für Kardiologie, Angiologie, Pneumologie und internistische Intensivmedizin, Herzzentrum, Uniklinik Köln, Universität zu Köln, Köln, Deutschland
- <sup>4</sup> Abteilung für Kardiologie, Universitätsklinikum Mainz, Mainz, Deutschland
- <sup>5</sup> Klinik für Kardiologie, Angiologie und Intensivmedizin, Deutsches Herzzentrum der Charité, Berlin, Deutschland
- <sup>6</sup> Diagnostikum Berlin, Berlin, Deutschland
- <sup>7</sup> Abteilung für Kardiologie, Augustinum Klinikum München, München, Deutschland
- <sup>8</sup> Klinik für Innere Medizin und Kardiologie, Herzzentrum Dresden, Dresden, Deutschland
- <sup>9</sup> Klinik für Kardiologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland
- <sup>10</sup> Herzzentrum Leipzig, Universitätsklinik für Kardiologie, Leipzig, Deutschland
- <sup>11</sup> Klinik für Innere Medizin, Kardiologie und Angiologie, Herz- und Diabeteszentrum Bad Oeynhausen, Ruhr-Universität Bochum, Bad Oeynhausen, Deutschland
- <sup>12</sup> Klinik für Innere Medizin und Kardiologie, Asklepios Klinik Nord-Heidberg, Hamburg, Deutschland
- <sup>13</sup> Klinik für Kardiologie und Angiologie, GRN-Klinik Weinheim, Weinheim, Deutschland
- <sup>14</sup> Bildgebungszentrum Weinheim, Hector Stiftung, Weinheim, Deutschland
- <sup>15</sup> Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland